

ЛОГИЧЕСКИЕ ВХОДЫ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ УСТРОЙСТВ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ: ПРОБЛЕМЫ МНИМЫЕ И РЕАЛЬНЫЕ

В.И.Гуревич, к.т.н., Центральная лаборатория Электрической компании Израиля

Логические входы являются важнейшими узлами микропроцессорных устройств релейной защиты (МУРЗ), от надёжности работы которых во многом зависят правильные действия всей релейной защиты, установленной на подстанции или электростанции. В связи с этим понятно то внимание, которое уделяется многими авторами различным аспектам названной проблемы. К сожалению, наряду с серьёзными работами на эту тему, встречаются и весьма странные статьи, поднимающие мнимые проблемы, вводящие в заблуждение техническую общественность и уводящие её от проблем реальных.

Так, например, в статье [1] рассматривается одна из таких мнимых проблем логических входов МУРЗ: якобы недостаточная надёжность их активации посредством внешних контактов промежуточных реле из-за малой величины тока (2,5 мА), потребляемого логическими входами МУРЗ, то есть тока, протекающего через контакты промежуточного реле. Авторы полагают, что такие “микротоки слишком малы, чтобы обеспечить “электрическую очистку” контактов”. Пытаясь решить эту “проблему”, авторы рассматривают различные способы увеличения тока, проходящего через контакты промежуточного реле, управляющего логическими входами МУРЗ. Одним из предлагаемых способов является использование дополнительных внешних резисторов, включённых параллельно каждому логическому входу МУРЗ для увеличения общего тока через контакт до 8–10 мА. Другим — использование специального узла, формирующего импульс тока для разрушения оксидной плёнки на контактах промежуточного реле. Почему эта проблема мнимая? По нескольким причинам.

Во-первых, потому что она существует лишь при коммутации низких напряжений (ниже 10–20 В), но никак ни напряжений в 110 или 220 В. Всё дело в том, что толщина оксидной плёнки не превышает 0,1 микрона и легко пробивается напряжением выше 10–20 В. Это явление называется фриттингом. Если ток маленький (микроток, как в рассматриваемом случае), то он протекает через микроточку, в которой произошёл пробой плёнки. Площади этой микроточки вполне достаточно для про-

хождения тока в единицы миллиампер. При этом чисто внешне, из-за малой площади точки контакт может выглядеть полностью окислённым, что, однако, не мешает его нормальному функционированию. Если попробовать “прозвонить” такой контакт обычным низковольтным тестером, то он покажет увеличенное сопротивление и нестабильный контакт, поскольку при напряжении, используемом в тестерах, оксидная плёнка не пробивается. Непонимание этих процессов приводит к возникновению мифов, подобных упомянутому выше.

Во-вторых, потому что проблема ненадёжной коммутации малых токов при малых напряжениях возникает лишь при неправильном использовании электромагнитных реле. Существуют как слаботочные реле, способные коммутировать микровольты при токах в микроамперы, так и относительно мощные реле промышленной автоматики, предназначенные для коммутации токов в единицы–десятки ампер при напряжениях 10–600 В. Слаботочное реле нельзя использовать для коммутации токов в десятки ампер точно так же, как и мощное реле нельзя использовать для коммутации микротоков при малых напряжениях, поскольку для контактов двух этих разновидностей реле используются различные материалы, обладающие различными свойствами. Для сильноточных контактов применяется чистое серебро или его сплавы с оловом, кадмием, никелем, а для слаботочных — золото или покрытие из золота. Кроме того, для коммутации слаботочных низковольтных цепей часто используются уменьшенные по размерам и массе раздвоенные контакты. Типичный пример — промежуточное реле промышленного типа серии I фирмы Kuhnke. Одно и то же реле с обычными силовыми контактами может коммутировать минимальный ток 50 мА при напряжении 20 В, а с раздвоенными позолоченными контактами — ток 1 мА при напряжении 100 мВ. Слаботочные реле очень разнообразно представлены на рынке, так как они широко применяются в электронной аппаратуре и аппаратуре связи. В бывшем СССР в Министерстве промышленности средств связи (МПСС) существовал даже отдельный главк (Девятое Главное управление), в составе которого было 11 крупных заводов, специализирующихся на выпуске слаботочных реле.

В заключение рассмотрения этой “проблемы” необходимо отметить, что нам не известно ни одного случая несрабатывания логического входа ни

на одном из многих десятков МУРЗ разных производителей, с которыми приходилось иметь дело на протяжении многих лет.

Ещё одна проблема из разряда мнимых представлена в работе [2], в которой авторы сетуют на отсутствие в нормативном документе РД 34.35.310-97 “Общие технические требования к микропроцессорным устройствам защиты и автоматики энергосистем” требований к МУРЗ о возможности их работы (то есть функционирования цепей питания и цепей запуска логических входов) от источника не только постоянного, но и переменного напряжения. Авторы считают, что МУРЗ обязательно должны иметь возможность работы на переменном оперативном токе. При этом для обеспечения требуемой надёжности авторы предлагают [3] использовать специальные накопители энергии. Однако они забывают, что МУРЗ — это всего лишь один из элементов системы, называемой релейной защитой. Помимо МУРЗ, в неё входят многочисленные устройства связи (например, для дифференциальных защит линий) и передачи данных на главный диспетчерский пульт, масса всевозможных промежуточных реле, отключающая и включающая (для действия АПВ) катушки высоковольтных выключателей. Что даст применение накопителей энергии для поддержания питания МУРЗ в течение нескольких секунд, если все остальные элементы системы окажутся обесточенными? Или такими накопителями авторы собираются снабдить каждое промежуточное реле? А кто и когда будет проверять исправность всех этих накопителей? Именно по причине невозможности обеспечения надёжной работы релейной защиты от источника переменного оперативного напряжения в “Рекомендациях по технологическому проектированию подстанций переменного тока с высшим напряжением 35–110 кВ”, введённых Приказом Министерства энергетики РФ 30.06.2003 №288, совершенно недвусмысленно говорится о применении на подстанциях, как правило, оперативного постоянного тока напряжением 220 В, источником которого служит аккумуляторная батарея, работающая с зарядно-подзарядным агрегатом.

Что касается возможности запуска логических входов реле от переменного и постоянного напряжения, например, за счёт использования диодного моста, как это предложено в [2 и 3], то на практике это оказывается не только бесполезным в силу изложенных выше причин, но и просто опасным. Как известно, отключающая и включающая катушки выключателей соединяются последовательно с их собственными мощными блок-контактами, обеспечивающими разрыв высокоиндуктив-

ных цепей этих катушек на постоянном токе и, тем самым, предохраняющим контакты управляющих реле от мгновенного сгорания при воздействии мощной дуги. При разрыве на постоянном токе цепи, содержащей значительную индуктивность, как известно, генерируется высоковольтный импульс напряжения обратной полярности. Из собственной практики автору известны случаи отключения микропроцессорными реле дистанционной защиты высоковольтных линий электропередач из-за ложных срабатываний вследствие поступления на один из логических входов реле импульса обратной полярности, возникающего при размыкании блок-контактом выключателя его катушки. Для предотвращения этого явления пришлось устанавливать на логическом входе реле дополнительный диод, шунтирующий этот вход для сигнала обратной полярности. На этапе проектирования сложных и разветвлённых цепей релейной защиты практически невозможно заранее предусмотреть такого рода эффекты, поэтому применение выпрямительного моста, обеспечивающего запуск логического входа МУРЗ от постоянного напряжения любой полярности или от переменного напряжения, чревато серьёзными и трудно прогнозируемыми последствиями.

А теперь о проблемах реальных. Стремление к уменьшению тока, потребляемого логическими входами МУРЗ, обуславливает выбор режимов работы некоторых электронных компонентов в схемах логических входов на границе их характеристик. Например, однажды нам пришлось заменить семь оптронов типа CNY17-2 на одной лишь печатной плате логических входов МУРЗ типа REC316!

Оптроны этого типа имеют следующие параметры:

- номинальный прямой входной ток (ток световоспринимающего элемента — I_F) — 60 мА;
- максимальный прямой входной ток (I_{Fmax}) — 100 мА;
- номинальный выходной ток (ток коллектора выходного транзистора) — 50 мА;
- максимальный ток коллектора выходного транзистора — 100 мА.

Как оказалось, эти оптроны работают в МУРЗ в режиме, весьма далёком от номинального, при очень малых входном и выходном токах, практически на их нижней границе. В результате проведённого исследования было выяснено, что оптроны, выпаянные из неработающих входов МУРЗ, в действительности не являются повреждёнными. Разница между “работающими” и “неработающими” оптронами в реле оказалась лишь в их чувствительности к очень малым, фактически предельным входным токам (I_F) (таблица 1).

Из таблицы 1 видно, что падения напряжения на транзисторах оптронов, извлечённых из неработающих входных цепей МУРЗ, значительно превышают типовые значения (рис. 1) (0,18 В при входном токе $I_F = 2 \text{ mA}$), в то время как те же значения для новых оптронов другого производителя даже ниже типовых.

Таблица 1. Падения напряжения на выходных транзисторах оптронов типа CNY17-2 при токе коллектора 0,5 мА и входных токах 2 и 2,5 мА

Падение напряжения, В	
$I_F = 2,0 \text{ mA}$	$I_F = 2,5 \text{ mA}$
Оптроны, извлечённые из неработающих входов реле REC316	
1,471	0,992
1,027	0,344
0,574	0,188
1,452	0,967
1,315	0,769
0,734	0,201
0,634	0,178
Новые оптроны того же типа, но другого производителя	
0,134	0,120
0,143	0,127
0,132	0,119
0,144	0,127
0,139	0,123
0,139	0,124
0,134	0,120
0,143	0,125

К сожалению, многие производители (оптроны типа CNY17-2 выпускаются компаниями Agilent, Toshiba, QT Optoelectronics, Fairchild, Vishay, Liteon, Everlight, Isocom, Opto Inc., Siemens и др.) просто не указывают эти важнейшие характеристики оптронов в технической документации на свои изделия, поэтому никаких претензий к ним предъявить нельзя. Претензии, скорее, можно предъявить к конструкторам электронной аппаратуры (в этом случае к конструкторам МУРЗ серии RE*316 из компании ABB), выбравшим режим её работы на самой границе характеристики оптронов, в результате чего малейшие технологические отклонения параметров приборов приводят к полной потере работоспособности таких ответственных устройств как многофункциональные реле защиты. Поэтому точно так же, как и в ситуации с миниатюрными выходными реле, предназначенными для прямого включения отключающих катушек выключателей [4], потребителю МУРЗ необходимо убедиться в соответствии режимов работы базовых элементов

логических входов (в нашем случае, оптронов) их реальным характеристикам.

Ещё одной реальной проблемой является выбор изготовителем слишком широкого диапазона номинальных рабочих напряжений (например, 82–312 В для МУРЗ серий REL, REC, RET) для логических входов реле, что является источником двух проблем: низкой эффективности защиты от перенапряжений с помощью варистора и проблемы ложных срабатываний.

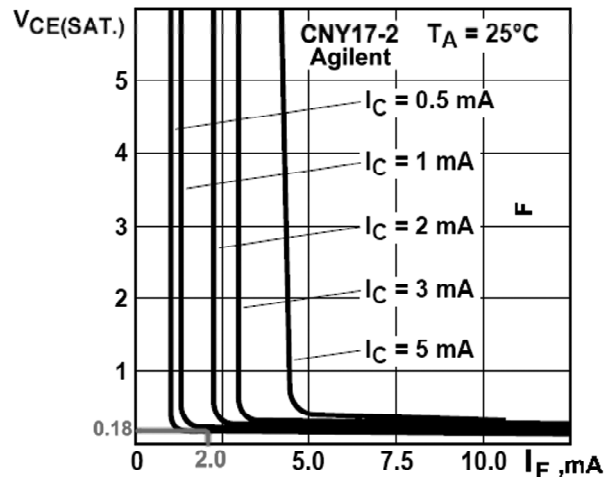


Рис. 1. Зависимость падения напряжения на выходном транзисторе оптрона ($V_{CE(SAT)}$) от входного тока (I_F) фотоизлучающего элемента для различных токов коллектора выходного транзистора

Первая проблема обусловлена тем, что для обеспечения работоспособности при напряжении 312 В (совершенно нереального в практическом плане) напряжение срабатывания варистора, защищающего логический вход от перенапряжения, должно быть выбрано не менее 650 В (таковы реальные характеристики варисторов). Это означает, что все электронные элементы схемы будут подвергаться перенапряжениям, достигающим до 650 В и более (для сравнения: максимальное допустимое напряжение транзистора типа 2N3439, используемого в качестве логического элемента в схеме логического входа МУРЗ рассматриваемого типа, не превышает 350 В).

Вторая проблема обусловлена малым значением нижней границы диапазона рабочих напряжений. Проведённый анализ показал, что реальные значения напряжений нижнего порога срабатывания МУРЗ распространённых типов: REL, REC, REG, RET 216, 316 (ABB); Siprotec 7SJ600, 8SJ52, 7UT513 (Siemens); MiCOM P437, P545 (Areva), предназначенных для работы в сети постоянного тока

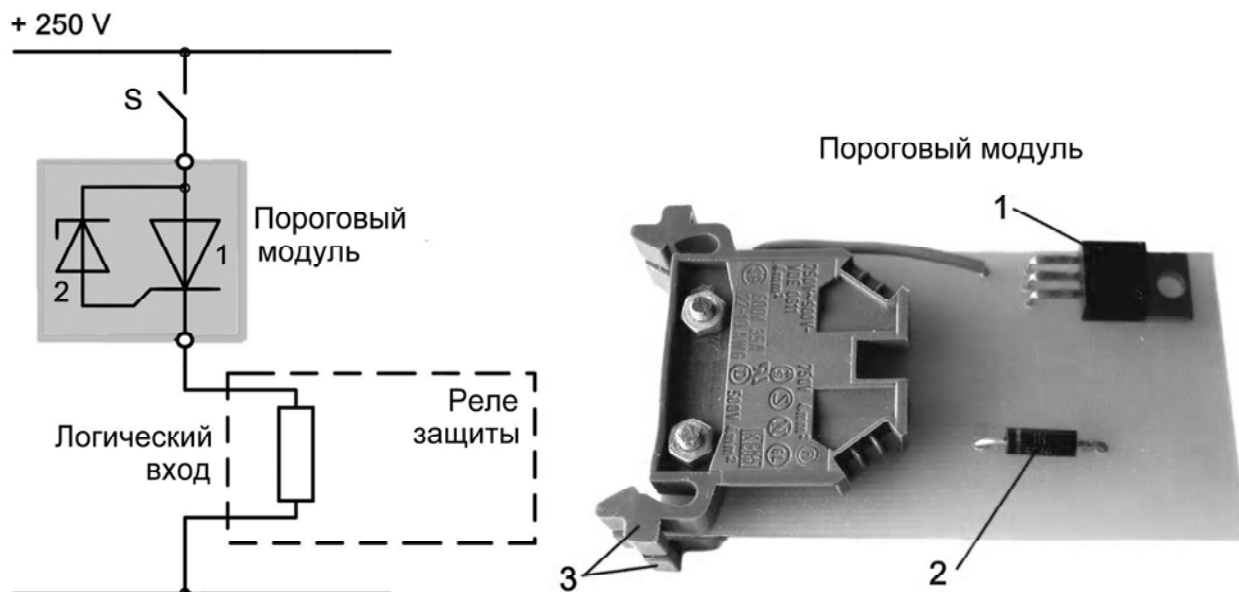


Рис. 2. Схема включения и конструкция порогового модуля: 1 — тиристор типа BTA151-800R; 2 — стабилитрон типа 1N5383; 3 — две клеммные панельки типа Wieland 9700A/6S35

с напряжением 220 В, — составляют для указанных типов реле от 50 до 90 В. Более того, оказалось, что даже и некоторые типы промежуточных электромеханических реле с номинальным напряжением 220 В постоянного тока, применяемых на подстанциях, могут срабатывать при напряжении 80–90 В. Проблема заключается в том, что при замыканиях на землю одного из полюсов (положительного или отрицательного) в системе постоянного тока, применяющегося в релейной защите, возникает импульс тока напряжением в половину напряжения батареи (то есть, около 110 В), обусловленный разрядом ёмкости проводов сети постоянного тока. При таком разряде создаются условия для самопроизвольной активации логических входов микропроцессорных защит в том случае, если порог срабатывания логических входов ниже половины напряжения сети постоянного тока (то есть 110 В), и такие случаи реально имели место. Учитывая ограниченную длительность импульса разрядного тока, технически возможно ввести (программными средствами) в логическую схему МУРЗ дополнительный программный таймер, обеспечивающий задержку прохождения входного сигнала на 20–40 мс. Такой таймер будет играть роль фильтра, препятствующего срабатыванию МУРЗ при воздействии кратковременных импульсов тока при разряде ёмкости сети. Можно использовать RC-цепочку, подключённую к входам реле и выполняющую ту же функцию. Однако, прежде необходимо решить, допустимо ли, в принципе,

увеличение почти вдвое времени реакции реле на повреждение (короткое замыкание). По мнению автора, такое замедление действия реле защиты является недопустимым.

В связи с изложенным, нами предложено иное решение проблемы, основанное на повышении нижнего порога срабатывания логических входов до нормируемого уровня, превышающего половину напряжения сети. В качестве такого уровня выбрано напряжение 150 В. Для реализации этой идеи предложено использование простейшего модуля (рис. 2), состоящего из двух электронных компонентов: стабилитрона с напряжением стабилизации 150 В и номинальным током 5 мА и чувствительного тиристора с током отпирания не более 2–4 мА на напряжение не менее 600 В. Наиболее подходящими для этой цели являются тиристоры типов C106M, TLS106-06, BTA151-600R, BTA151-800R, NTE5406 и др.

При напряжении ниже 150 В устройство находится в запертом состоянии, поэтому импульсы напряжения величиной до 110 В, возникающие при замыканиях на землю в сети постоянного тока, не проходят на логические входы реле защиты. При замыкании управляющего контакта S к стабилитрону скачком приложится напряжение 220 В, и он мгновенно откроется, пропуская через себя ток в цепь управляющего электрода тиристора. Тиристор отпирается и своим низким прямым сопротивлением шунтирует стабилитрон и цепь управляющего электрода. Теперь весь рабочий ток прохо-

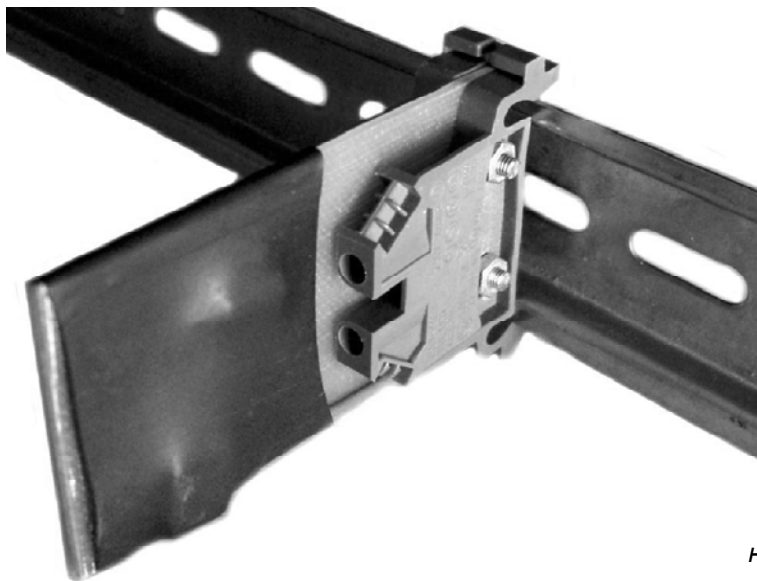


Рис. 3. Внешний вид одиночного модуля, установленного на стандартной DIN-рейке

дит через цепь анод–катод тиристора. Падение напряжения на открытом тиристоре не превышает долей вольт, что в сочетании с небольшим током, протекающим через него (15–50 мА), обуславливает очень незначительное рассеивание мощности и не вызывает нагрева мощного тиристора. Оба элемента размещены на небольшой плате из стеклотекстолита размерами 70 x 40 мм, зажатой с помощью двух винтов между двумя стандартными клеммными панельками, предназначенными для установки на стандартной DIN-рейке. После монтажа элементов на плате они покрываются слоем водостойкого лака и изолируются с помощью термоусаживающейся диэлектрической трубки, обеспечивающей механическую защиту элементов и соединений на плате. Готовое устройство представляет собой небольшой, легко монтируемый модуль (рис. 3), имеющий очень низкую стоимость (тиристор вместе со стабилитроном стоят менее 3 USD).

Модуль целесообразно подключать не ко всем логическим входам, а лишь к особо критическим, инициация которых может вызвать срабатывание реле и отключение линий электропередач или силового электрооборудования. Для одного микропроцессорного реле может потребоваться 2–4 модуля.

Описанное устройство можно использовать также совместно с обычными электромеханическими реле в тех случаях, когда их реальное напряжение срабатывания меньше половины напряжения сети постоянного тока, то есть когда существует угроза их ложного срабатывания.

Помимо описанных проблем с логическими входами, у МУРЗ существует достаточно много про-

блем и другого рода, рассмотренных автором в работах [4–9], причём реальных, требующих своего решения без того, чтобы придумывать проблемы не существующие.

ЛИТЕРАТУРА

1. Захаров О.Г., Козлов В.Н. Дискретные входы цифровых устройств центральной сигнализации // Электротехнический рынок.— 2008.— №4(22).
2. Захаров О.Г., Козлов В.Н. Корректировка требований к условиям питания оперативным током цифровых устройств защиты, автоматики и сигнализации // Электротехнический рынок.— 2008.— №2(20).
3. Гондуров С.А., Захаров О.Г. Требования к оперативному питанию цифровых устройств релейной защиты и автоматики // Энергия и Менеджмент.— 2005.— №5.
4. Гуревич В.И. Об особенностях реле управления отключающими катушками высоковольтных выключателей // Электричество.— 2008.— №11.
5. Гуревич В.И. Надёжность микропроцессорных устройств релейной защиты: мифы и реальность // Проблемы энергетики.— 2008.— №5–6.
6. Гуревич В.И. Испытания микропроцессорных устройств релейной защиты: настоящее и будущее // Электрические сети и системы.— 2007.— №6.
7. Гуревич В.И. О проблеме электропитания микропроцессорных реле защиты // ПРО электричество.— 2006.— №4(20).
8. Гуревич В.И. Электромагнитная незащищённость — новая реальная опасность XXI века // Энергетик.— 2006.— №5.
9. Гуревич В.И. Устройства для мониторинга целостности цепи подстанционной батареи 220 В // Энергослужба предприятия.— 2008.— №8.